

Н.П. Полозов

Воздухоплавание

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
Н11

Н11 **Н.П. Полозов**
Воздухоплавание / Н.П. Полозов – М.: Книга по Требованию, 2014. – 393 с.

ISBN 978-5-458-29588-8

Книга содержит краткую историю развития воздухоплавания и его военного применения, а также рассматривает вопросы элементарной теории воздухоплавания, технического описания материальной части воздухоплавательных аппаратов, приборов и оборудования. Книга рассчитана на начальствующий состав Красной Армии.

ISBN 978-5-458-29588-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Глава I

ВОЗДУХ И ЕГО СВОЙСТВА

1. Общие положения

Газообразная оболочка земного шара, называемая атмосферой, представляет собой механическую смесь газов, химически не действующих друг на друга. Имея в своем составе кислород, поддерживающий горение, атмосфера дает возможность существования различным организмам.

Воздушные слои, пропуская световые лучи, значительно задерживают тепловые лучи, испускаемые земной поверхностью, и тем самым замедляют охлаждение земли. При интенсивном нагреве земли солнцем начинается сильное испарение воды, и пары, поднимаясь в верхние слои атмосферы, охлаждаясь, образуют облака, которые уменьшают дальнейший нагрев земли солнцем. Таким образом, атмосфера во всех условиях является регулятором теплового состояния земли.

Воздух, как и всякий газ, обладает стремлением распространяться во все стороны и удерживается вокруг земли только вследствие своего веса.

Около земной поверхности основную массу воздуха составляют: азот — 78% и кислород — 21% (по объему).

Из других газов, входящих в состав воздуха в количествах, исчисляемых десятками и сотыми долями процента, следует упомянуть углекислый газ, аргон, гелий и водород. Кроме указанных газов, в воздухе постоянно присутствуют в большом количестве водяные пары и атмосферная пыль, отдельные частицы которой могут достигать высоты 40—50 км.

В течение долгого времени предполагали, что слои воздуха на высоте 20 км отличаются по составу от слоев воздуха у земли, но полеты стратостатов в СССР и США показали, что соотношение азота и кислорода на высоте 19—20 км остается таким же, как и у земли.

Конечно, тяжелые газы (углекислота, аргон, кислород и азот)

убывают с высотой быстрее, чем легкие (водород и гелий)¹. Подсчет, основанный на этих соображениях, дает следующую приблизительную картину изменения с высотой содержания газов в атмосфере, графически представленную на рис. 1.

Пространство между кривыми соответствует процентному содержанию газов на различных высотах. Из рисунка видно, что

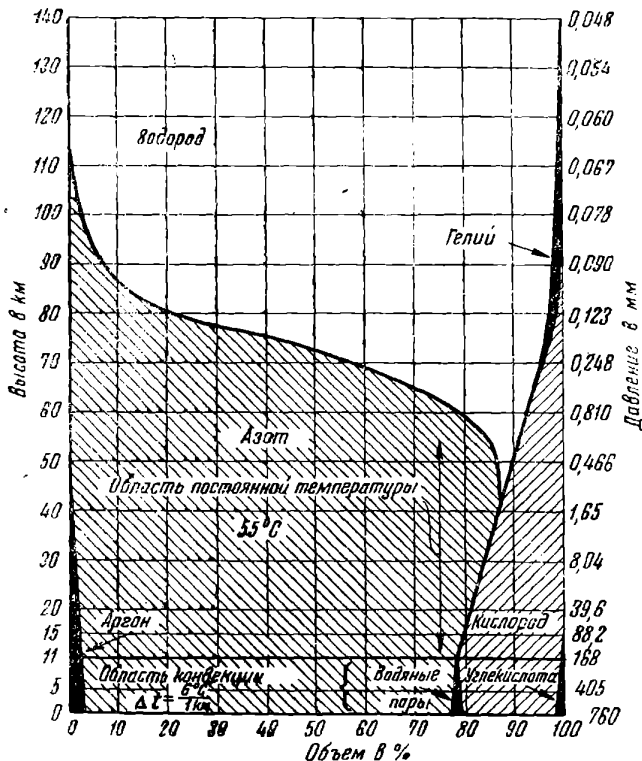


Рис. 1. Состав атмосферного воздуха на разных высотах.

содержание аргона становится ничтожно малым уже на высоте 30 км, кислорода — на высоте 80 км, азота — 130 км. В то же время с высотой начинает возрастать относительное содержание водорода, так как его убывание с высотой, ввиду его легкости, происходит в 14 раз медленнее, чем азота.

Вследствие своего веса окружающая землю воздушная масса производит на все находящиеся в ней тела со всех сторон оди-

¹ Водород, если взять его в одинаковом объеме с другими газами, в 14 раз легче азота, в 16 раз легче кислорода, в 20 раз легче аргона и в 22 раза легче углекислоты.

наковое давление. Это давление называется атмосферным. С высотой величина атмосферного давления уменьшается.

Определить величину атмосферного давления весьма просто: наполним ртутью стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца, затем, закрыв открытый конец трубки пальцем, опустим его в чашку с ртутью и там палец отнимем. Ртуть не выльется полностью в чашку, часть ее останется в трубке.

Высота оставшегося столба ртути в разные дни и даже в разное время дня может быть различна, в зависимости от давления воздуха.

В верхнем запаянном конце трубки над ртутью образуется пустота, и, если, разбив конец трубки, пропустить туда воздух, ртуть в трубке немедленно упадет до уровня ее в чашке.

Из опыта, проведенного впервые в 1643 г. итальянским физиком Торичелли, видно, что вес ртути, оставшейся в трубке, равен силе атмосферного давления на ртуть в нижнем конце трубки (на уровне ртути в чашке).

Следовательно, по весу ртути в трубке мы можем судить о давлении атмосферы.

Среднее давление атмосферы на уровне моря под 45° географической широты, соответствующее при 0° С высоте 760 мм рт. ст. и равное 10 333 кг/м², или 1,0333 кг/см², называется нормальным барометрическим давлением.

Атмосферное давление 760 мм рт. ст. при 15° С на уровне моря в международном масштабе принято за стандарт и носит название стандартной атмосферы.

Давление, равное 1 кг/см², называется атмосферой (технической или метрической) и соответствует высоте ртутного столба:

$$760 \frac{10000}{10333} = 735,6 \text{ мм (при } 0^\circ \text{ С).}$$

Измерение атмосферного давления производится ртутными барометрами, металлическими барометрами (анероиды)¹, барографами; последние записывают изменение давления атмосферы на специальной ленте.

2. Изменение давления и плотности воздуха с высотой

С поднятием на высоту вышележащий слой воздуха будет иметь меньшую плотность, а следовательно, и меньший вес, чем на земле, поэтому он будет создавать меньшее давление. График,

¹ Существенную часть металлического барометра составляет круглая запаянная металлическая коробочка с волнистыми стенками. Воздух из этой коробочки откачан. При повышении внешнего давления коробочка сжимается, при уменьшении давления — выпрямляется; это движение системой рычажков передается на стрелку, указывающую величину давления по шкале прибора.

приведенный на рис. 2, показывает изменение температуры, давления и веса воздуха с высотой.

Так как с высотой давление и температура уменьшаются, то это влечет за собой и изменение плотности воздуха¹.

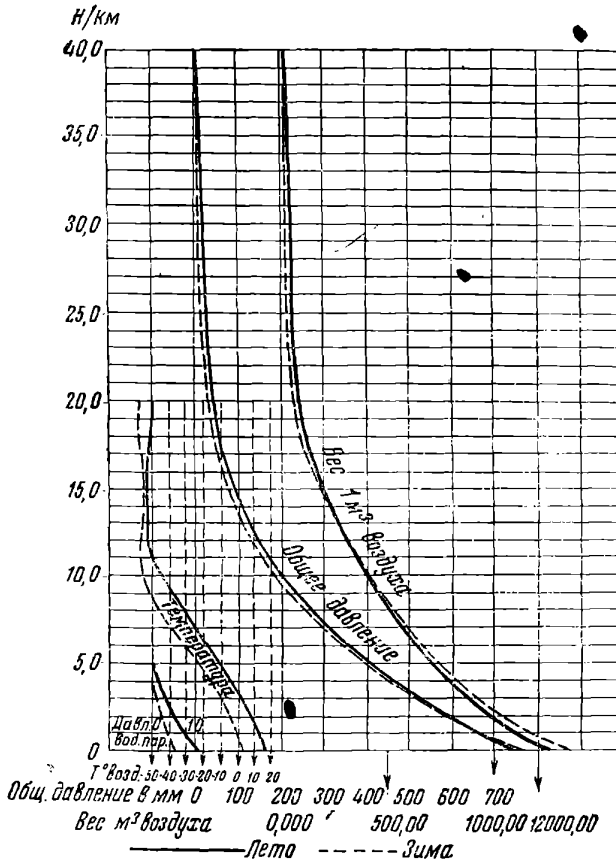


Рис. 2. Изменение веса, давления и температуры воздуха с высотой.

¹ Атмосферу делят на две части — тропосферу и стратосферу. Тропосфера — слой воздуха, где ощущается влияние перемешивания воздуха, нагретого земной поверхностью; она имеет границу от 11 км в северных широтах до 18 км над экваториальными широтами. Основной особенностью тропосферы является падение температуры с высотой, т. е. наличие так называемого вертикального градиента температуры, величина которого приблизительно равна $0,6^\circ$ на каждые 100 м, или 6° на 1000 м высоты. С высоты границы тропосферы температура около -55 — -56°C остается постоянной (а над экватором понижается до -90°C). Постоянство температуры и отсутствие облачности являются характерной особенностью стратосферы.

Плотность воздуха¹ зависит от давления и температуры: с уменьшением давления она уменьшается, а с уменьшением температуры увеличивается. Плотность воздуха также зависит от наличия в нем водяных паров.

Весовая плотность сухого воздуха при стандартном давлении и температуре равна $1,2255 \text{ кг/м}^3$, а это означает, что 1 м^3 воздуха при этих условиях весит $1,2255 \text{ кг}$.

В тех случаях, когда не требуется очень высокой степени точности, плотность в зависимости от температуры определяют по следующей формуле:

$$\rho = \rho_0 [1 - 0,00347 (t - 15^\circ)], \quad (1)$$

где ρ — плотность воздуха или газа;

t — измеренная температура; значок ρ_0 обозначает, что соответствующее значение ρ взято при стандартных условиях.

Изменения плотности в зависимости от изменения давления воздуха на уровне моря или в данной точке земной поверхности относительно невелики: показания барометра весьма редко бывают выше 800 мм и ниже 720 мм , т. е. на $\pm 5\%$.

При изменении давления атмосферы от одного крайнего значения до другого максимальное изменение плотности только около 8% , т. е. по 4% в ту или другую сторону от стандартного значения плотности. Изменение плотности с высотой будет иное.

Пределы изменений плотности на уровне моря в зависимости от изменения температуры значительно большие, чем в зависимости от изменения давления.

На графике (рис. 3) представлено изменение плотности сухого воздуха в зависимости от давления и температуры.

¹ Плотность воздуха нас интересует главным образом для определения подъемной силы газов, применяемых в воздухоплавании, поэтому здесь этот вопрос разбирается вкратце.

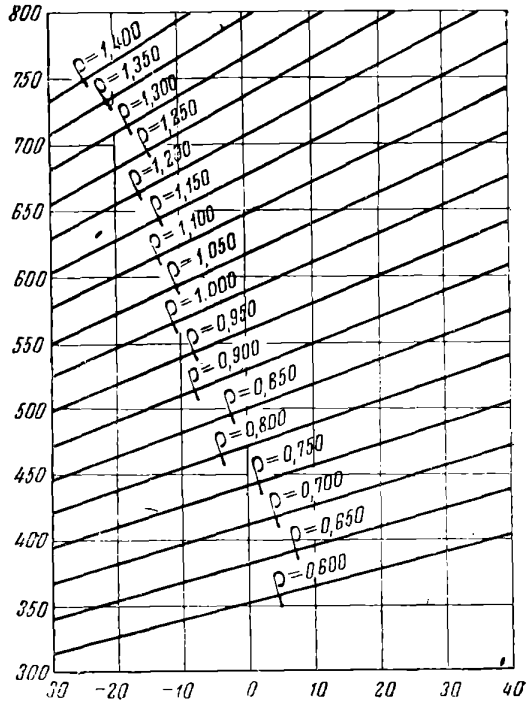


Рис. 3. Плотность воздуха (кг/м^3) в зависимости от давления и температуры.

Влажность воздуха оказывает на его плотность незначительное влияние, но когда нужен точный подсчет плотности, то на влажность, в зависимости от ее величины, необходимо внести поправку, которую можно взять из графика, представленного на рис. 4.

Из графика видно, что присутствие водяных паров уменьшает плотность воздуха, делает его легче сухого. Для вычисления

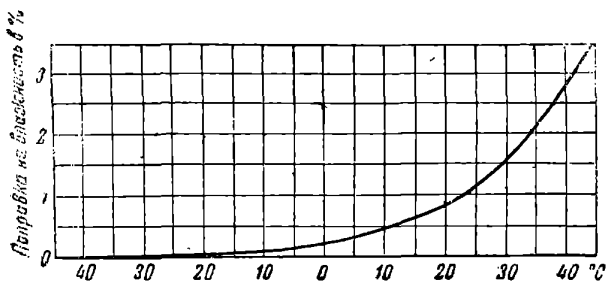


Рис. 4. Влияние влажности на плотность воздуха при полном насыщении.

плотности воздуха в зависимости от давления пользуются следующей формулой:

$$\rho = \rho_0 \frac{p_1}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_1}, \quad (2)$$

где ρ — плотность искомая;

ρ_0 — плотность при стандартных условиях;

p_1 — давление при данных условиях;

p_0 — давление при стандартных условиях;

T_0 — абсолютная температура при стандартных условиях, равная $273 + 15 = 288^\circ \text{C}$;

$T_1 = t + 273^\circ \text{C}$ — абсолютная температура.

Пользуются и другой формулой, дающей приблизительное значение:

$$\rho = \rho_0 \frac{p_1}{p_0} [1 - 0,00378 (t - 15^\circ)]. \quad (3)$$

Ниже приводятся формулы, с помощью которых, имея величину давления на данной высоте по барометру, можно достаточно точно определить высоту.

Формула Иордана, представленная в следующем виде:

$$\frac{h}{H} = \frac{2(p_0 - p)}{(p_0 + p)}, \quad (4)$$

где h — искомая высота;

H — высота однородной атмосферы, равная 8 000 м;

p_0 — начальное атмосферное давление;

p — атмосферное давление на высоте.

Для больших высот лучше пользоваться следующей эмпирической формулой:

$$\frac{h}{H} = \frac{2(p_0 - p)}{0,9p_0 + 1,1p}. \quad (5)$$

Здесь для высот до 6 000 м точность до 1%.

Для определения зависимости между плотностью и высотой существует переработанная проф. Уорнером формула Эверлинга, которая имеет следующий вид:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{2 - 0,951 \left(\frac{h}{10000} \right) - 0,054 \left(\frac{h}{10000} \right)^2}{2 + 0,951 \left(\frac{h}{10000} \right) + 0,054 \left(\frac{h}{10000} \right)^2}, \quad (6)$$

где p — искомая плотность;

h — высота полета в м;

p_0 — плотность при стандартных условиях.

Если температура на уровне моря не 15°C , то необходимо внести поправку, которую получают по нижеследующей формуле, обеспечивающей точность до 1% для всех температур от -7° до $+45^\circ \text{C}$:

$$\pm \Delta \left(\frac{p}{p_0} \right) = \left(\frac{15 - t_1}{268 + t_2} \right) \left(1 - \frac{h}{7620} \right)^3, \quad (7)$$

где $\Delta \left(\frac{p}{p_0} \right)$ — поправка к отношению плотностей;

t_1 — действительная температура на уровне моря;

h — высота подъема в м.

3. Основные законы газов

Газ — это такое агрегатное состояние вещества, при котором молекулы его весьма слабо связаны внутренними силами.

При рассмотрении газовых явлений в метеорологии и воздухоплавании без заметной ошибки можно считать сухой воздух и воздухоплавательные газы как газы идеальные, не превращающиеся в жидкость, за исключением водяного пара, который в атмосфере может присутствовать в трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом.

Идеальные газы в своих изменениях полностью подчиняются законам Бойля-Мариотта и Гей-Люссака. Реальные газы, т. е. действительные газы, фактически от этих законов отступают, но если все же они к ним применяются, то этим допускается некоторое приближение.

О всех телах судят по их характерным свойствам. Величины, являющиеся мерилем этих свойств, носят название параметров.

Параметрами газа являются его объем, давление и температура.

Объем газа. Полный объем произвольного количества газа обозначается через V и измеряется в м^3 . Объем 1 кг газа

обозначается через v измеряется в $\text{м}^3/\text{кг}$ и называется удельным объемом. При этом $V = vG$, где G — вес газа в кг .

Вес 1 м^3 газа обозначается через γ и называется весовой плотностью, иногда — удельным весом газа, который измеряется в $\text{кг}/\text{м}^3$; массовая плотность газа:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{\gamma}{981} \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4},$$

где γ газа есть величина, обратная его удельному объему v , т. е. $\gamma = \frac{1}{v}$, что вытекает из определения удельного объема и весовой плотности, а именно:

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ и } v = \frac{V}{G}.$$

Давление газа. Отношение $\frac{G}{S}$, где G — нормальная к поверхности S и равномерно по ней распределенная сила, обозначается через P и p ; первое употребляется при измерении давления в $\text{кг}/\text{м}^2$, второе — при измерении давления в $\text{кг}/\text{см}^2$.

Это — измерение давления газа как силы в кг ; но есть и другой способ измерения давления — высотой столба жидкости, уравнивающего давление газа (рис. 4а):

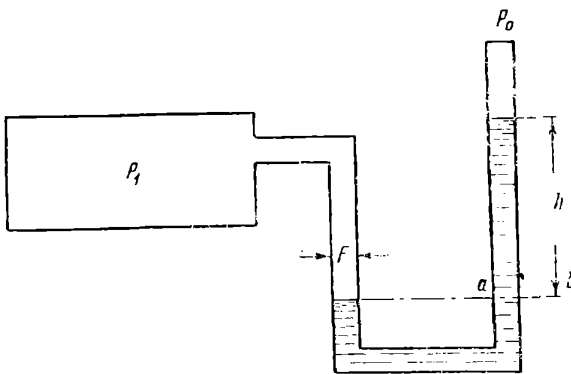


Рис. 4а.

- F — площадь сечения трубки;
- P_0 — атмосферное давление;
- P_1 — давление газа в сосуде;
- γ — вес 1 м^3 жидкости в трубке;
- h — высота столба жидкости.

При $P_1 > P_0$ в сечении ab установится равновесие сил, на него действующих, выражаемое равенством:

$$P_1 F = P_0 F + F h \gamma,$$

откуда

$$h = \frac{P_1 - P_0}{\gamma},$$

т. е. высота столба жидкости, уравнивающего разность давлений, пропорциональна разности давлений, обратно пропорциональна плотности жидкости и не зависит от площади сечения трубки.

Если $P_1 - P_0 = 1 \text{ ат} = 10\,000 \text{ кг/м}^2$, то высота h при заполнении трубки ртутью будет равна:

$$h = \frac{P_1 - P_0}{\gamma} = \frac{10000}{13595} = 735,6 \text{ мм},$$

это при $t = 0^\circ \text{ С}$, так как только при этих условиях γ ртути равняется $13\,595 \text{ кг/м}^3$.

При заполнении трубки водой, для которой $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$, высота h будет равна:

$$h = \frac{P_1 - P_0}{\gamma} = \frac{10000}{1000} = 10 \text{ м}.$$

Температура газа. Температура обозначается через t и T . Первое обозначение соответствует измерению температуры по шкале Цельсия, второе — измерению по абсолютной шкале¹.

$$T = 273^\circ + t.$$

При 0° С столб ртути высотой 760 мм уравнивается величиной одной физической атмосферы, но это действительно только при $t = 0^\circ \text{ С}$, так как при этом удельный вес 1 м^3 ртути равен $13\,595 \text{ кг/м}^3$. Если высота столба ртути будет отмечена при температуре, отличной от 0° С , то при определении величины давления высоту столба ртути необходимо привести к 0° С . Для температур, больших 0° С , данную высоту ртути уменьшают, а для температур, меньших 0° С , высоту увеличивают на соответствующую поправку.

Поправки обычно берутся из таблиц, но их легко определить. Для приведения к 0° С отсчитанной при температуре t° высоты барометра h нужно из последней вычесть, если $t^\circ > 0^\circ \text{ С}$, или к ней прибавить, если $t^\circ < 0^\circ \text{ С}$, $0,00018 ht$, где $0,00018$ — средний коэффициент расширения ртути между 0 и 100° С . Если к тому же принять во внимание изменение шкалы, по которой производится отсчет, то эта поправка будет $0,00017 ht$ для стеклянной шкалы и $0,00016 ht$ — для латунной.

Закон Паскаля

Жидкости и газы передают оказываемое на них извне давление равномерно во все стороны, т. е. каждый квадратный сантиметр площадки, как бы она ни была расположена — внутри жидкости или газа, будет испытывать с обеих сторон равные давления.

Закон Архимеда

Так как любая площадка внутри жидкости испытывает давление по нормали (перпендикулярно) к ней, то и тело, погруженное

¹ Абсолютная температура отсчитывается по абсолютной шкале, нуль которой лежит на 273° ниже нуля шкалы Цельсия.

в жидкость, будет также испытывать со стороны прилегающей к нему жидкости нормальное давление со всех сторон: с боков, сверху вниз и снизу вверх. Но давление h_2S снизу больше давления h_1S сверху; поэтому погруженное в жидкость тело будет последней выталкиваться снизу вверх с некоторой силой; эта сила равна весу вытесненной телом жидкости (рис. 46).

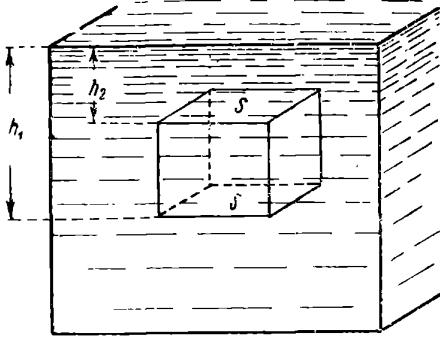


Рис. 46.

Закон Бойля-Мариотта

Если увеличить или уменьшить объем постоянного весового количества газа при постоянной температуре, то давление газа будет уменьшаться или соответ-

ственно увеличиваться. При этом, если начальное состояние газа обозначить через p_1 и v_1 , а конечное — через p_2 и v_2 , то для идеальных газов обнаруживается зависимость:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

или, иначе,

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = p_i v_i = \text{const},$$

или

$$PV = \text{const},$$

которая показывает, что в процессе изменения состояния газа при $T = \text{const}$ произведение удельного объема на давление для любого момента процесса есть величина постоянная.

Заменяя в выражении $p_1 v_1 = p_2 v_2$ удельные объемы через удельные веса, пользуясь соотношением $v = \frac{1}{\gamma}$, получим:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{p_2}{p_1},$$

т. е. изменение удельного веса (весовой плотности) газа при постоянной температуре прямо пропорционально изменению давления.

Закон Гей-Люссака

Если происходит нагревание или охлаждение газа при постоянном давлении p , то объем его изменяется пропорционально изменению температуры. Приращение объема при нагревании и уменьшение его при охлаждении происходят на $\frac{1}{273}$ часть начального объема V на каждый градус изменения температуры. $\frac{1}{273} = \alpha$, коэффициент объемного расширения, — для всех газов величина постоянная.